

## 薄膜磁気ヘッド及びその製造方法

### BACKGROUND OF THE INVENTION

本発明は、薄膜磁気ヘッド、これを用いた磁気記録装置及びその製造方法に関し、更に詳しくは、薄膜磁気ヘッドに備えられた書き込み素子の改良に係る。

### DESCRIPTION OF THE RELATED ART

近年、ハードデスク装置の面記録密度の向上にともなって薄膜磁気ヘッドの性能向上が求められている。薄膜磁気ヘッドは書き込みを目的とする書込素子と、読みだしを目的とし、磁気抵抗効果を利用した読取素子からの積層構造からなっている。特に最近のGMR Headは面密度150-200 (GB/P)を超える勢いである。GMR膜は複数の膜を組み合わせた多層構造である。GMRが発生するメカニズムはいくつかの種類があり、メカニズムによってGMR膜の層構造が変わる。量産を前提とするGMR膜としては、スピンバルブ膜（以下、SV膜と称する）や強磁性トンネル接合膜（以下、TMR膜と称する）が知られている。

一方、読取素子の性能向上にともなって、書込素子の性能向上も求められている。書き込み素子において、記録密度を高めるためには、狭トラック構造を実現し、トラック密度を上げなければならない。狭トラック構造を実現する手段として、上部記録磁材に、半導体加工技術を利用して、サブ $\mu\text{m}$ 加工を施す手法が知られている。しかし、半導体技術を用いてトラック幅を微細化すると、書き込み磁束が得られにくくなるから、これを補う手段として、狭トラックポールには、高飽和磁束密度材料（以下HiBs材と称する）を使用するのが普通である。

また、薄膜磁気ヘッドが、ノート型パソコン、Desk Topパソコン、サーバーまたはワークステーションによく見られる高周波使用タイプのコンピューターに使用される場合、薄膜磁気ヘッドとして、高周波応答特性に優れていることが要求される。また、最近のハードディスクドライブはそのアクセススピードを求められており、そのスピードの応答に対応するため、薄膜磁気ヘッドのコンパクト化が求められている。

高周波特性は、バックギャップからポールまでのヨーク長(Yoke Length)を短くすることによって改善できる。ヨーク長YLの短縮化と、ポールへのHiBs材料の使用との組

み合わせにより、たとえば、NLTSやOver Write特性(以下、O/W特性と称する)などを、高周波帯域(500MHz-1000MHz)まで、高レベルに維持し得る。

ヨーク長YLを短くする手法は、種々考えられる。その1つの方法はコイルピッチを可能な限り短くすることである。しかし、この技術には、次のような問題点がある。

まず、コイルピッチを短くすると、コイル幅が狭くなり、コイルの抵抗が高くなる。そのためコイルが発熱し、その熱によってポールの周囲が熱膨張する、いわゆるポールのサーマルプロトルージョン(Thermal Protrusion of Pole)が発生する。ポールのサーマルプロトルージョンが発生すると、ヘッドとメディアの衝突をおこすおそれが生じるため、サーマルプロトルージョンは、高密度記録に不可欠なスライダの低浮上化の障害となる。そのため、コイルピッチの短縮によって、ヨーク長YLを短くする手法には限界がある。

次に、コイルピッチの狭小化が進むにつれて、コイルを形成するためのフォトリソグラフィプロセスが困難になる。理由は、コイルピッチが狭小化されるほど、コイルをフォトリソグラフィプロセスによって形成する際、露光時の反射が悪影響を及ぼすためである。反射防止対策を行わないかぎり、正確で、垂直なコイルが形成できない。たとえば、1.5  $\mu\text{m}$ 以上の高さで、0.3  $\mu\text{m}$ ~0.5  $\mu\text{m}$ 以下のコイルピッチを、現在のフォトリソグラフィ技術を適用して形成した場合、歩留が著しく低下する。

ヨーク長YLを短くする別の手法は、コイルターン数を少なくすることである。この場合は、コイルの高さを高くし、コイル抵抗を下げるができる。しかし、この方法ではコイルターン数が少なくなるため、十分な書き込み磁束を得ることができず、O/W特性不良が発生する。またコイルピッチの狭いコイルを高く形成することは極めて難しく、特にコイルをメッキによって形成した後、Seed層をイオンビームでエッチングする際、コイル間ショートが多発する。

一般的に、薄膜磁気ヘッドの書込素子は、空気ベアリング面(以下ABSと称する)に最も近いコイルの最小コイル幅が、ヨーク長YLを決定するようにデザインされている。この最小コイル幅のトータル長さは、全体のコイル抵抗の60~70%以上の抵抗値を決めているため、ヨーク長YLを短くするには、最小コイル幅のトータル長さを可能な限り短くする必要がある。コイル抵抗を低減するために、太い幅のコイルを用いると、ヨーク長YLを短くすることができず、このような書込素子は高周波特性が劣化し、高周波領域

でのNLTSやO/W特性に劣化が見られ、歩留を落とす原因となる。

ヨーク長YLを短くしたままで、コイルターン数をあげ、かつ、コイル抵抗の低減化を計る方法として、コイル断面積を増大（コイルの高さを高くする。）させるために考え得る構造は、コイルを2層、3層と、階層的に積み重ねる構造である。しかし、この階層構造をとった場合、Writeギャップ膜の位置とGMRセンサーの位置の距離が遠くなり、スライダ作成時の研磨の際に、ABSを研磨した場合、狭いGMRハイト（Reader部）と狭いスロット（Writer部）を両立させることは難しい。スライダの研磨角度によってはスロットハイトが大きなバラツキ現象をおこす。

また、薄膜磁気ヘッドの高周波特性を改善するための手段として、従来より種々の先行技術が提案されている。例えば、U. S. P. 6, 043, 959号明細書は、第2のヨーク部（上部ヨーク部）を平面状に形成して、コイルの相互誘導インダクタンスを低減させ、高周波特性を改善する技術を開示している。U. S. P. 6, 259, 583 B1号明細書は、第2のヨーク部を、高透磁率で低異方性の層と、非磁性層とを交互に積層して、平面状に形成する構造を開示している。

上述した先行技術に示されているような平面形状のポール構造は、フォトリソグラフィによって画定されたものであり、記録密度を高めるためには、さらに、半導体加工技術を適用して、ポール部にサブ $\mu\text{m}$ 加工を施し、狭トラック構造を実現しなければならない。しかし、このサブ $\mu\text{m}$ 加工には、上述したような問題が付きまとう。上記先行技術には、その解決手段が記載されていない。

さらに、ヨーク長YLを短縮する方法として、上記のようにコイル断面積を増大させる手法の他に、コイルに対してABS側に形成されている下部ポールの幅（ABSからコイルまでの距離）を短くする手法が考えられる。ヨーク長YLは、BackGapからABSまでの距離を一般的に示している。したがって、この距離を短縮するにはコイルピッチの縮小化などの他に有効な手段に下部ポールの幅を狭くする、つまりABSからコイルまでの距離を短くすることが有効である。

しかしながら、下部ポール幅を短く（例えば、 $0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$ 程度に、よって、スロットハイトも $0.8 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ）する場合、Trimmingを深く行い、例えば深さ $0.35 \sim 0.4 \mu\text{m}$ でトラック幅 $0.2 \mu\text{m}$ 以下となるTrimmingを行うと、下部ポールのTrimming部が狭く、且つ深く形成されるためTrimmingの深さに対応してO/W特性が悪

化する現象が生じる。現実には、実効書き込みトラック幅の広がりを防止するため、トラックポール周囲のギャップ部及び下部ポールをIon Millingにてエッチングし、そのときに下部ポールを0.3～0.4  $\mu\text{m}$ と深くするエッチングする必要があった。

また、トラック幅が0.1～0.2  $\mu\text{m}$ 以下のトラック幅を持つ薄膜磁気ヘッドは、一枚ディスクに100GB/Platterあるいは200GB/Platterの記録密度を持つハードディスクに求められている。しかし、トラック幅が狭い分、隣りのトラックにデータを書き込むサイドライト、あるいは隣りのトラックや、2～3箇所前や後のトラックを消す、サイドイレースなどの問題が発生することがあり、特にAdjacent Track Erase(A T E)はA B Sのギャップ部で磁束がトラック幅よりも広く広がる現象や、下部ポールにおけるTrimmingの浅い部分から漏れる磁束によって発生する不具合が多く発生して、それらが多くのハードディスクドライブの歩留を下げるといった要因であった。そのA T Eを改善する手法として、一般的にはTrimmingの深さを深く形成することが良く行なわれていた。しかし、Trimmingを深く形成した場合、O/W特性が悪化するという更なる不具合が発生することは前述したとおりである。

このようにして形成された従来の薄膜磁気ヘッドは、特に記録ヘッドに多くの問題点があり、その問題点によって記録ヘッドの特性改善が妨げられることがしばしばあった。

本発明の課題は、ヨーク長を短くし、高周波特性を改善した高周波対応型の薄膜磁気ヘッド、その製造方法及び磁気記録装置を提供することである。

本発明のもう一つの課題は、コイル前方の下部ポール部の幅を短縮するにあたって書き込み幅の拡大防止のために下部ポール部に深いトリミングを施しても、充分なO/W特性を確保し得る高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッド、その製造方法及び磁気記録装置を提供することである。

本発明の別の課題は、コイル前方の下部ポール部の幅を短縮するにあたって書き込み幅の拡大防止のために下部ポール部に深いトリミングを施しても、コイルへのアタックを防止することができる高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッド、その製造方法及び磁気記録装置を提供することである。

#### DESCRIPTION OF THE RELATED ART

上述した課題を解決するため、本発明は、書き込み素子を含む薄膜磁気ヘッドであって、前記書き込み素子は、第1のヨーク部と、第2のヨーク部と、第1のポール部（下部ポール部）と、第2のポール部（上部ポール部）と、ギャップ膜と、バックギャップ部と、コイルとを含んでおり、前記第1のヨーク部は、前記バックギャップ部を介して媒体対向面の逆側で第2のヨーク部と結合されており、前記第1及び第2のポール部はそれぞれ、前記第1及び第2のヨーク部の媒体対向面側に設けられており、前記第1のポール部は、第2のポール部と対向する媒体対向面側の位置に、該第2のポール部の幅に合わせて縮小された幅の被トリミング部分を有し、前記第2のポール部は、媒体対向面側に向けて縮小された幅を有しており、前記ギャップ膜は、前記第1のポール部及び第2のポール部の間に設けられており、前記コイルは、前記バックギャップ部の周りを渦巻き状に周回しており、さらに、前記第1のポール部は、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分を有する、薄膜磁気ヘッドである。

このような構造によれば、第1のポール部にトリミングを施す際、トリミングマスクが後退する現象が生じてコイルが露出することがなく、コイルへのアタックを回避することができる。加えて、第1のポール部における被トリミング部分の後方には、コイルにおける第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分が、磁気ボリュームを得られる領域として存在しているため、大きなオーバーライトを得られる。

好適には、前記第1のポール部は、第1のポール片と、第2のポール片と、第3のポール片とを含み、前記第1のポール片は、前記コイルを支持する第1の磁性膜の端によって構成されており、前記第2のポール片は、その一面が前記第1のポール片に隣接しており、前記第3のポール片は、その一面が前記第2のポール片の他面に隣接しており、前記第2のポール片は、前記コイルの媒体対向面側に配置されており、前記第3のポール片は、前記第2のポール片の他面と、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面とを覆うように延長した部分を有する。

このような構造によれば、第3のポール片は、コイルアタックを防止すると共に、トリミング後に磁気ボリュームを得られる領域として機能する。

好適には、前記第1のポール部は、第4のポール片をさらに含み、前記第4のポール片は、前記第3のポール片の他面に隣接しており、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の全部と、前

記第4のポール片の高さ方向の一部とに設けられている。

このような構造によれば、第3のポール片及び第4ポール片の双方によって、コイルアタックの防止と、オーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記第1のポール部は、第4のポール片をさらに含み、前記第4のポール片は、前記第3のポール片の他面に隣接しており、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の全部に設けられている。

このような構造によれば、第3のポール片によってコイルアタックの防止とオーバーライト特性の向上とを図ることができると共に、スロートハイトゼロを決定する第4のポール片の形成態様を簡素化することができる。

好適には、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の一部に設けられている。

このような構造によれば、第3のポール片によってコイルアタックの防止とオーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記被トリミング部分のトリミング深さは、前記第3のポール片における前記延長した部分にまで達する深さである。

このような構造によれば、深いトリミングを施しても、コイルアタックの防止とオーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記被トリミング部分のトリミング底面は、前記第4のポール片によって形成されている。

好適には、前記コイルは、第1のコイルと、第2のコイルとを含み、

前記第1のコイル及び前記第2のコイルは、前記バックギャップ部の周りを渦巻き状に周回し、一方のコイルが、他方のコイルターン間のスペースに絶縁膜を介して嵌め込まれ、同一方向の磁束を生じるように接続されている。

同課題を解決するための本発明に係る薄膜磁気ヘッドの製造方法は、該書き込み素子が、バックギャップ部によって結合される第1のヨーク部及び第2のヨーク部と、それらヨーク部の媒体対向面側に設けられた第1のポール部及び第2のポール部と、それらポール部の間に介在されたギャップ膜と、バックギャップ部に渦巻き状に周回されたコイルとを有しており、前記第1のヨーク部の上方に前記コイルを形成し、前記第1のポール部の構

成部分を、前記コイルの上面を覆うように延長させて形成し、前記第1のポール部の上方に前記ギャップ膜を形成し、前記ギャップ膜の上方に前記第2のポール部を含む第2のヨーク部を形成し、前記第1のポール部を、前記第2のポール部の幅に合わせてトリミングする。

このような方法によれば、第1のポール部にトリミングを施す際、トリミングマスクが後退する現象が生じてコイルが露出することがなく、コイルへのアタックを回避することができる。加えて、第1のポール部における被トリミング部分の後方には、コイルにおける第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分が、磁気ボリュームを得られる領域として存在しているため、大きなオーバーライトを得られる。

好適には、前記第1のポール部のトリミングは、前記コイルの上面を覆うように延長した部分まで達する深さで行われる。

このような構造によれば、深いトリミングを施しても、コイルアタックの防止とオーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記第1のポール部の形成は、前記コイルを支持する第1の磁性膜の端に位置する第1のポール片を形成し、前記コイルを形成した後、該コイルの媒体対向面側に第2のポール片を形成し、前記第2のポール片の上面及び前記コイルの上面を覆うように延長する第3のポール片を形成する、ことを含む。

このような方法によれば、第1のポール部をトリミングする際に、第3のポール片によってコイルアタックを防止することができると共に、トリミング後にも第3のポール片が十分な磁気ボリュームを得られる領域として機能する。

好適には、前記第1のポール部の形成は、前記第3のポール片の上面に第4のポール片を形成することをさらに含み、前記第4のポール片の形成は、所期の主要長さに前記第4のポール片を形成する第1工程と、スロートハイトゼロを決定する部分として前記主要長さよりも短い長さ部分を形成する第2工程と、を含む。

このような方法によれば、第3のポール片及び第4のポール片の双方によって、コイルアタックの防止と、オーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記第1のポール部の形成は、前記第3のポール片の上面に第4のポール片を形成することをさらに含み、前記第4のポール片は、スロートハイトゼロを決定すべく前記第3のポール片よりも短い所期の主要長さを膜厚全体に亘って有するように形成され

る。

このような方法によれば、第3のポール片によってコイルアタックの防止とオーバーライト特性の向上とを図ることができると共に、スロートハイトゼロを決定する第4のポール片を、所期の長さ一度に加工することができ、形成態様を簡素化することができる。

好適には、前記第3のポール片の形成は、所期の主要長さに前記第3のポール片を形成する第1工程と、スロートハイトゼロを決定する部分として前記主要長さよりも短い長さ部分を形成する第2工程と、を含む。

このような方法によれば、第3のポール片によって、コイルアタックの防止と、オーバーライト特性の向上とを図ることができる。

好適には、前記第2のポール片の形成後、前記第3のポール片の形成前に、前記コイルの上面と該第3のポール片における該コイルの上面を覆うように延長する部分との間に、絶縁膜を形成する工程を含む。

本発明は、更に、薄膜磁気ヘッドとヘッド支持装置とを組み合わせた磁気ヘッド装置、及び、この磁気ヘッド装置と磁気記録媒体（ハードディスク）とを組み合わせた磁気記録再生装置についても開示する。

本発明の他の目的、構成及び利点については、添付図面を参照し、更に詳しく説明する。図面は単なる例示にすぎない。

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドをABS側から見た平面図、

図2は、図1に示した薄膜磁気ヘッドの断面図、

図3は、図1、図2に示した薄膜磁気ヘッドの実施例1に係る電磁変換部分の構造を、拡大して示す断面図、

図4は、図3に示した電磁変換部分をABS側から見た図、

図5は、図3及び図4に示した電磁変換部分のうち、書き込み素子の部分を切り取って示す斜視図、

図6は、図3乃至図5に示した電磁変換部分における書き込み素子のコイル構造を示す平面図、

図7は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの実施例2に係る電磁変換部分を、拡大して示す



断面図、

図 8 は、図 7 に示した電磁変換部分を A B S 側から見た図、

図 9 は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの実施例 3 に係る電磁変換部分について、拡大して示す断面図、

図 1 0 は、図 9 に示した電磁変換部分を A B S 側から見た図、

図 1 1 は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの実施例 4 に係る電磁変換部分について、拡大して示す断面図、

図 1 2 は、図 1 1 に示した電磁変換部分を A B S 側から見た図、

図 1 3 は、図 3 乃至図 6 に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図

、

図 1 4 は、図 1 3 に示した工程の後の工程を示す図、

図 1 5 は、図 1 4 に示した工程の後の工程を示す図、

図 1 6 は、図 1 5 に示した工程の後の工程を示す図、

図 1 7 は、図 1 6 に示した工程の後の工程を示す図、

図 1 8 は、図 1 7 に示した工程の後の工程を示す図、

図 1 9 は、図 1 8 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 0 は、図 1 9 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 1 は、図 2 0 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 2 は、図 2 1 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 3 は、図 2 2 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 4 は、図 2 3 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 5 は、図 2 4 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 6 は、図 2 5 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 7 は、図 2 6 に示した工程を A B S 側から見た図、

図 2 8 は、図 2 6 及び図 2 7 に示した工程の後の工程を示す図、

図 2 9 は、図 2 8 に示した工程を A B S 側から見た図、

図 3 0 は、図 7 及び図 8 に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図

、

図 3 1 は、図 3 0 に示した工程の後の工程を示す図、

図32は、図31に示した工程の後の工程を示す図、  
図33は、図32に示した工程の後の工程を示す図、  
図34は、図33に示した工程の後の工程を示す図、  
図35は、図34に示した工程の後の工程を示す図、  
図36は、図35に示した工程をABS側から見た図、  
図37は、図35及び図36に示した工程の後の工程を示す図、  
図38は、図37に示した工程をABS側から見た図、  
図39は、図9及び図10に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図、  
図40は、図39に示した工程の後の工程を示す図、  
図41は、図40に示した工程の後の工程を示す図、  
図42は、図41に示した工程の後の工程を示す図、  
図43は、図42に示した工程の後の工程を示す図、  
図44は、図43に示した工程の後の工程を示す図、  
図45は、図44に示した工程の後の工程を示す図、  
図46は、図45に示した工程をABS側から見た図、  
図47は、図45及び図46に示した工程の後の工程を示す図、  
図48は、図47に示した工程をABS側から見た図、  
図49は、図11及び図12に示した電磁変換部を持つ薄膜磁気ヘッドの製造工程を示す図、  
図50は、図49に示した工程の後の工程を示す図、  
図51は、図50に示した工程の後の工程を示す図、  
図52は、図51に示した工程の後の工程を示す図、  
図53は、本発明に係る薄膜磁気ヘッドを用いた磁気ヘッド装置の正面図、  
図54は、図53に示した磁気ヘッド装置を底面側（ABS側）から見た図、及び、  
図55は、本発明に係る薄膜磁気ヘッド及び磁気ヘッド装置と、磁気記録媒体とを組み合わせた磁気記録再生装置を、概略的に示す斜視図である。

#### DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

## 1. 薄膜磁気ヘッド

図1～図4を参照すると、本発明に係る薄膜磁気ヘッドは、スライダ5と、書き込み素子2と、読み取り素子3とを含む。スライダ5は、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC等である基体15の表面に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 等の絶縁膜16を設けた（図3参照）セラミック構造体である。スライダ5は、媒体対向面に浮上特性制御用の幾何学的形状を有している。そのような幾何学的形状の代表例として、図示では、ABS側の基底面50に、第1の段部51、第2の段部52、第3の段部53、第4の段部54、及び、第5の段部55を備える例を示してある。基底面50は、矢印F1で示す空気の流れ方向に対する負圧発生部となり、第2の段部52及び第3の段部53は、第1の段部51から立ち上がるステップ状の空気軸受けを構成する。第2の段部52及び第3の段部53の表面は、ABSとなる。第4の段部54は、基底面50からステップ状に立ち上がり、第5の段部55は第4の段部54からステップ状に立ちあがっている。電磁変換素子2、3は、第5の段部55に設けられている。

電磁変換素子2、3は、書き込み素子2と、読み取り素子3とを含む。書き込み素子2及び読み取り素子3は、空気の流れ方向F1で見て、空気流出端（トレーリング エッジ）の側に備えられている。

図3、図4を参照するに、書き込み素子2は、第1のヨーク部211と、第2のヨーク部221、222と、アルミナ等であるギャップ膜24と、第1のポール部P1と、第2のポール部P2と、第1のコイル231と、第2のコイル232とを有している。第1のヨーク部211は、第1の磁性膜によって構成されている。図示実施例において、第1のヨーク部211は一層の第1の磁性膜によって構成されているので、第1のヨーク部211と第1の磁性膜とは同義である。以下の説明において、その簡単化のため、第1のヨーク部211を第1の磁性膜211と表現することがある。

第1の磁性膜211は、絶縁膜34によって支持され、その表面は実質的に平坦な平面となっている。絶縁膜34は、例えば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、AlNまたはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第2のヨーク部221、222は、第1の磁性膜211とはインナーギャップを介して向き合っている。図示実施例において、第2のヨーク部221、222は、第2の磁性膜221と第3の磁性膜222とを積層した構造を有する。説明の簡単化のため、第2のヨ

ーク部221、222を、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222と表現することができる。

第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222は、例えば、NiFe、CoFe、CoFeN、CoNiFe、FeNまたはFeZrN等の磁性材料から選択することができる。第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222の膜厚は、例えば、0.5～4.0  $\mu\text{m}$ の範囲に設定される。このような第1の磁性膜211、第2の磁性膜221及び第3の磁性膜222はフレイムメッキ法によって形成できる。

図示実施例において、第1の磁性膜211は、CoFeNまたはCoNiFeのいずれかによって構成するものとする。第3の磁性膜222はCoNiFeによって構成し、第2の磁性膜221は飽和磁束密度の高いCoFeNで構成することができる。

第1の磁性膜211、第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221の先端部は、微小厚みのギャップ膜24を隔てて対向する第1のポール部P1及び第2のポール部P2の一部を構成しており、第1のポール部P1及び第2のポール部P2において書き込みを行なう。ギャップ膜24は、非磁性金属膜またはアルミナ等の無機絶縁膜によって構成される。

図示実施例において、第1のポール部P1は、第1の磁性膜211の端部によって構成される第1のポール片の上に、第2のポール片212、第3のポール片213及び第4のポール片214を、この順序で積層した構造を有する。第2のポール片212、第3のポール片213及び第4のポール片214は、CoFeNまたはCoNiFeなどのHiBs材によって構成する。

第2のポール部P2は、ギャップ膜24の上に、第2の磁性膜221の端部によって構成される第5のポール片及び第3の磁性膜222の端部によって構成される第6のポール片224を、順次に積層した構造となっている。

図4を参照すると、第1の磁性膜211の端部、第2のポール片212及び第3のポール片213は、ABSのトラック幅方向に広がりを見せているが、第4のポール片214は、その上端側が、両側から、狭トラック幅PW（図4参照）となるように削減されており、その上に積層されているギャップ膜24、第2の磁性膜221の端部によって構成される第5のポール片及び第3の磁性膜222の端部によって構成される第6のポール片224も、第4のポール片214とほぼ同じ狭トラック幅PWとなっている。これにより、高密度記録に対応した狭トラック幅PWが得られる。

第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221は、更に、第1の磁性膜211との間にインナーギャップを保って、ABS52、53の後方（ABSから離れる向き側）に延び、バックギャップ片216、217及び218において、第1の磁性膜211に結合されている。

図示実施例において、インナーギャップは、絶縁膜254～256及びギャップ膜24によって埋められており、第3の磁性膜222及び第2の磁性膜221によって構成される第2のヨーク部は、ギャップ膜24の上に形成されている。

第2の磁性膜221、及び、第3の磁性膜222によって構成される第2のヨーク部は、広い部分223と、細い部分224とを含む。広い部分223は、表面が平坦で、ABS52、53を基準にして後方側のバックギャップ部216～218により、第1の磁性膜211と結合されている。これにより、第1の磁性膜211、バックギャップ部216～218、第2の磁性膜221、第3の磁性膜222及び書き込みギャップ膜24をめぐる書き込み磁気回路が構成される。細い部分224は第2のポール部P2を構成する。

第1のポール部P1は、被トリミング部分を有する。この被トリミング部分は、ギャップ膜24と隣接する磁性膜、すなわち第4のポール片214が、幅方向の両側において、第2のポール部P2の幅に合わせてエッチング（トリミング）されることによって形成される。エッチングによって生じた両側の凹部の底部には、第4のポール片214の残部S1、S2が存在する。残部S1、S2は膜厚が第4のポール片214の根元部に近づくにつれて増大する。このような構造によれば、ギャップ膜24と隣接する第4のポール片214の磁気飽和を回避し、O/W特性を改善することができる。図示実施例では、残部S1、S2はなだらかな傾斜面となっているが、これに限定する趣旨ではない。

ギャップ膜24と隣接する第4のポール片214は、Co及びFeを含む磁性材料でなる。より具体的には、CoFe又はCoFeNの何れかでなる。CoFe又はCoFeNは、飽和磁束密度が2.2～2.4（T）のHiBs材料である。第4のポール片214は、FeN、CoFe又はCoFeNのスパッタ膜であってもよい。第2のポール部P2に関しても、ギャップ膜24と隣接する第2の磁性膜221は、同様の磁性材料によって構成することが望ましい。以上の組み合わせにより、0.1～0.2  $\mu\text{m}$ のトラック幅PWを有し、100（Gb/p）以上の高記録面密度に対応できる高記録面密度対応型の薄膜磁気ヘッドを実現することが可能になる。

図示実施例において、コイルは、第1のコイル231と、第2のコイル232とを含む。第1のコイル231及び第2のコイル232は、第1のヨーク部を構成する第1の磁性膜211の一面上に形成された第1の絶縁膜251の面上で、バックギャップ部216～218の周りを、渦巻き状に周回し、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜252を介して嵌め込まれ、同一方向の磁束を生じるように接続される。

第1のコイル231及び第2のコイル232の間に存在する第2の絶縁膜252は、例えば、Chemical Vapor Deposition（以下、CVDと称する）を適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜として形成できる。したがって、バックギャップ部216～218と第1のポール部P1との間で、第1のコイル231及び第2のコイル232の断面積を最大化し、コイルターン数を維持したままで、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部P1、P2におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は、一方が、他方のコイルターン間のスペースに、第2の絶縁膜252を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長YLを短くすることができる。

第1のコイル231及び第2のコイル232は、同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル231及び第2のコイル232は、巻き方向が同一になるので、第1のコイル231の内端と、第2のコイル232の外端とを接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。あるいは、第1のコイル231及び第2のコイル232を並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

図示実施例において、第1のコイル231及び第2のコイル232は、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対して、共通の絶縁膜254を付与することができるので、第1のコイル231及び第2のコイル232の上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル231及び第2のコイル232の上に更に他のコイルを形成する際に、安定したベ-

スを提供し、他のコイルを高精度のパターンとして形成することが可能になる。

第1のコイル231及び第2のコイル232の上に、更に、他のコイルを形成する際は、第1のコイル231及び第2のコイル232の平坦化とあわせて、第2のポール片212及びバックギャップ片216の上面も、コイルの導体面と同一平面となるようにする。こうすることにより、他のコイルを形成する際に必要となるポール片及びバックギャップ片を、平坦化された第2のポール片212及びバックギャップ片216の上面に、高精度パターンとして形成することができる。

次に、図3～図6を参照すると、第1及び第2のコイル231、232は、バックギャップ部216～218の周りを周回している。第1のコイル231は、スパイラル状であって、第1の磁性膜211の平坦な一面に形成された絶縁膜251の面上に配置され、絶縁膜251の面に対して垂直となる1つの軸の周りを、平面状に周回する。第1のコイル231は、Cu（銅）などの導電金属材料によって構成される。絶縁膜251は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ またはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第2のコイル232もスパイラル状であって、第1のコイル231のコイルターン間のスペースに、絶縁膜252を介して嵌め込まれ、軸の周りを平面状に周回する。第2のコイル232も、Cu（銅）などの導電金属材料によって構成される。絶縁膜252も、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ またはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第1のコイル231及び第2のコイル232の周りは、絶縁膜253によって埋められている（図3参照）。絶縁膜253も、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{AlN}$ またはDLC等の無機絶縁材料によって構成される。

第1のコイル231及び第2のコイル232の間に存在する絶縁膜252は、例えば、CVDを適用して、 $0.1\mu\text{m}$ 程度の極薄膜の $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜として形成できる。したがって、バックギャップ片216～218とポール部P1、P2との間で、第1のコイル231及び第2のコイル232の断面積を最大化し、コイルターン数を維持したまま、コイル抵抗値を下げ、発熱量を低減することができる。これにより、書き込み動作時に、ポール部P1、P2におけるサーマルプロトリュージョンの発生を抑制し、ヘッドクラッシュ及び磁気記録媒体上の磁気記録の損傷若しくは破壊を回避し、延いては、高記録密度のための低浮上量の要求に応えることができることになる。

第2のコイル232は、第1のコイル231のコイルターン間のスペースに、絶縁膜2

5 2 を介して嵌め込まれているから、コイル導体の配線密度が高くなる。このため、同一のターン数を保った状態では、ヨーク長YL（図3参照）を短くし、高周波特性を改善することができる。

第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2は同一方向の磁束を生じるように接続される。第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2は、巻き方向が同一になるので、第1のコイル2 3 1の内端2 8 1と、第2のコイル2 3 2の外端2 8 3とを、接続導体2 8 2で接続した直列接続構造をとることにより、同一方向の磁束を生じさせることができる。第1のコイル2 3 1の外端2 8 6は接続導体2 8 5により端子2 8 4に接続され、更に、リード導体2 9 1により外部に導かれ、取り出し電極に接続される。第2のコイル2 3 2の内端2 8 7は接続導体2 8 8により、端子2 8 9に接続され、更に、リード導体2 9 2により外部に導かれ、取り出し電極に接続される。

図6の図示とは異なって、第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2を並列に接続して、同一方向の磁束を生じるようにしてもよい。この場合は、ターン数は少なくなるが、コイル抵抗値を低減できる。

しかも、第2のコイル2 3 2と、第2のポール片2 1 2及びバックギャップ片2 1 6とは、例えば、CVDを適用して、 $0.1\ \mu\text{m}$ 程度の極薄膜となり得る絶縁膜2 5 2によって隔てられるので、ヨーク長YLの短縮化を、更に促進することができる。

第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2は、上面が導体面による同一平面を構成している。この構成によれば、第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2の上面に対して、共通の絶縁膜2 5 4を付与することができるので、第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2の上面に対する絶縁構造が簡単化される。また、第1のコイル2 3 1及び第2のコイル2 3 2の上に、平坦な安定したベース面を形成し、その後に高精度のパターンを形成することができる。

この場合、第1のコイル2 3 1は、メッキ膜であり、第1の磁性膜2 1 1の一面に付着された絶縁膜2 5 1の上に形成される。第2のコイル2 3 2も、メッキ膜であり、第1のコイル2 3 1のコイルターン間に生じるスペース内において、絶縁膜2 5 2の上に形成される。絶縁膜2 5 2は、スペースの底面及び両側面に形成される。

保護膜2 7 1は、書き込み素子2の全体を覆っている。保護膜2 7 1は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ または $\text{SiO}_2$ 等の無機絶縁材料で構成されている。



読み取り素子3の付近には、第1のシールド膜31と、絶縁膜32と、第2のシールド膜33とが備えられている。第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33は、NiFe等によって構成される。第1のシールド膜31は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 等の絶縁膜16の上に形成されている。絶縁膜16は $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiC等なる基体15の表面に形成されている。

読み取り素子3は、第1のシールド膜31及び第2のシールド膜33の間の絶縁膜32の内部に配置されている。読み取り素子3は、端面がABS52、53に臨んでいる。読み取り素子3は、巨大磁気抵抗効果素子（GMR素子）を含む。GMR素子は、スピンバルブ膜または強磁性トンネル接合素子の何れかによって構成することができる。

次に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図7、図8を参照して説明する。図7及び図8において、図1～図6に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドの基本的構造は、図1～図6に図示した薄膜磁気ヘッドと同じである。

図1～図6に図示され説明された薄膜磁気ヘッドと相違する点の1つには、第4のポール片214がその厚さ方向全体に亘って第3のポール片213よりも短く、換言するならば、第4のポール片214の後端が第2のコイル232の上方まで達しないように終端していることがある。かかる第4のポール片214は、図1～図6に示した薄膜磁気ヘッドの場合のように、パターンメッキとフォトリソトを用いた二度のエッチングを経ることなく、リフトオフを前提としたフォトリソトマスクFR3を用いたエッチングだけで一度に加工処理される。

従って、図7及び図8に示した薄膜磁気ヘッドによれば、図1～図6に示した薄膜磁気ヘッドの有する作用効果が得られる他、第4のポール片214の形成工程が簡単化されるという利点が得られる。

更に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図9及び図10を参照して説明する。図9及び図10において、図1～図6に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドの基本的構造は、図1～図6に図示され、説明された薄膜磁気ヘッドと同じである。

図1～図6に図示され説明された薄膜磁気ヘッドと相違する点の1つには、図7及び図8に示した薄膜磁気ヘッドと同様に、第4のポール片214がその厚さ方向全体に亘って第3のポール片213よりも短く、換言するならば、第4のポール片214の後端が第2

のコイル232の上方まで達しないように終端していることがある。かかる第4のポール片214は、図1～図6に示した薄膜磁気ヘッドの場合のように、パターンメッキとフォトレジストとを用いた二度のエッチングを経ることなく、パターンメッキを用いたエッチングによって一度に加工処理される。

従って、図9及び図10に示した薄膜磁気ヘッドによっても、図1～図6に示した薄膜磁気ヘッドの有する作用効果が得られる他、第4のポール片214の形成工程が簡単化されるという利点が得られる。

次に、本発明に係る薄膜磁気ヘッドの別の実施例について、図11、図12を参照して説明する。図11及び図12において、図1～図6に表れた構成部分と同一の構成部分については、同一の参照符号を付してある。図示実施例の薄膜磁気ヘッドの基本的構造は、以下に説明する部分を除いては、図1～図6に図示した薄膜磁気ヘッドと実質的に同じである。すなわち、図1～図6に図示され説明された薄膜磁気ヘッドと相違する点としては、コイルが第2のコイルを持たず第1のコイル231のみから構成されている点と、第1のポール部（下部ポール部）P1に第4のポール片を持たない点とがある。

## 2. 薄膜磁気ヘッドの製造方法

### (1) 実施例1

製造方法に係る実施例1は、上述した薄膜磁気ヘッドのうち、第1のコイル231及び第2のコイル232を有する第1の態様に係る薄膜磁気ヘッド（図1～図6）の製造プロセスである。図13～図29に図示するプロセスは、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

#### <図13の状態に至るプロセス>

図13を参照すると、基体15の上に付着された絶縁膜16の上に、第1のシールド膜31、読み取り素子3、絶縁膜32、第2のシールド膜33、絶縁膜34及び第1の磁性膜211を、周知のプロセスによって形成する。

具体例を述べると、絶縁膜16はアルミナ膜であり、例えば、3 $\mu$ m程度の膜厚となるように形成する。第1のシールド膜31は、NiFeなどの磁性材料を用い、フレイムメッキ法によって2～3 $\mu$ mの膜厚として形成する。絶縁膜32は、一般には、2段階ステップで形成される。第1ステップでは、3～4 $\mu$ mの膜厚のアルミナ膜を形成した後、その表面をCMPで平坦化し、その後、読み取り素子となるGMR素子3を形成する。その後、

第2ステップで、GMR素子3を覆うアルミナ膜を成膜する。第2のシールド膜33はNiFeなどの磁性材料を用い、1.0～1.5  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。絶縁膜34は、0.2～0.3  $\mu\text{m}$ のアルミナ膜として形成する。

第1の磁性膜211は、CoNiFe (2.1 T) 又はCoFeN (2.4 T) を用い、3.0～4.0  $\mu\text{m}$ の膜厚として形成する。第1の磁性膜211のうち、第1のポール片となる端部に、NiFe (80% : 20%) もしくはNiFe (45% : 55%) のメッキ膜、又は、FeAlN、FeN、FeCo、CoFeNもしくはFeZrNのスパッタ膜を、0.5～0.6  $\mu\text{m}$ の厚みで形成してもよい。

その後、第1の磁性膜211の平坦な表面に、コイル形成に要する面積よりも少し大きい面積で、例えば、0.2  $\mu\text{m}$ の厚みの絶縁膜251を成膜し、絶縁膜251の表面にSeed膜（図示省略する）を形成する。Seed膜は、絶縁膜251の表面及び第1の磁性膜211の表面を覆うように形成する。Seed膜は、Cuメッキ下地膜として適切な材料を用い、Cu-CVDの適用によって、50 nm～80 nmの膜厚となるように形成する。

次に、Seed膜の上にフォトレジスト膜を、スピンコート法などの適用によって形成した後、コイルパターンを有するマスクを用いて露光し、現像する。これにより、所定のパターンを有するレジストフレームが形成される。フォトレジスト膜は、ポジティブフォトレジスト、ネガティブフォトレジストの何れでもよい。

次に、選択的Cuメッキ処理を実行し、コイル形成用パターンの内部に存在するSeed膜の上に、第1のコイル231を、例えば3～3.5  $\mu\text{m}$ の厚みとなるように成長させる。図13は、上記選択的Cuメッキ処理終了後の状態を示している。

#### <図14の状態に至るプロセス>

次に、第2のポール片212及びバックギャップ片216を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。

次に、選択的メッキ処理を行い、第1の磁性膜211の上に第2のポール片212及びバックギャップ片216を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチングなどの手段によって除去する。これにより、図14に示すように、第1の磁性膜211の一面上に、ポール片212及びバックギャップ片216が間隔を隔てて形成される。ポール片212及びバックギャップ片216は、例えば、CoNiFe (1.9～2.2 T) によ

り、3.5～4.0  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように成膜する。

#### ＜図15の状態に至るプロセス＞

次に、図15に示すように、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216を覆うフォトレジスト膜RS2を形成する。そして、フォトレジスト膜RS2をマスクとして、第1の磁性膜211を、Reactive Ion Etching（以下、RIEと称する）又はIon Beam Etching（以下IBEと称する）などのドライエッチングを実行し、パターンニングする。

#### ＜図16の状態に至るプロセス＞

図15に示した状態において、フォトレジスト膜RS2に対してフォトリソグラフィ工程を実行し、図16に示すように、第1のコイル231及びその周囲を覆うレジストカバーFR2を形成し、更に、レジストカバーFR2の全体を覆う絶縁膜253を付着させる。絶縁膜253は、4～5  $\mu\text{m}$ の範囲の膜厚となるように形成する。図16は、絶縁膜253を形成した後の状態を示している。

#### ＜図17の状態に至るプロセス＞

次に、絶縁膜253及びレジストカバーFR2を、Chemical Mechanical Polishing（以下、CMPと称する）によって研磨し、平坦化する。CMPにあたっては、アルミナ系スラリーを用いる。図17はCMP処理を施した後の状態を示している。

#### ＜図18の状態に至るプロセス＞

次に、レジストカバーFR2を除去した後、絶縁膜251、253、第1のコイル231、第2のポール片212及びバックギャップ片216の表面及び側面に、0.1～0.15  $\mu\text{m}$ 程度の膜厚を有する絶縁膜252を付着させる。絶縁膜252を $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜として形成する場合、180～220℃の温度条件で、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ または $\text{H}_2\text{O}_2$ の減圧雰囲気中に、 $\text{Al}(\text{CH}_3)_3$ または $\text{AlCl}_3$ を交互に断続的に噴射するアルミナCVD膜形成方法を採用することができる。

更に、絶縁膜252の表面に、Cu-CVDによって、0.05～0.1  $\mu\text{m}$ の範囲の膜厚となるように、Seed膜261を付着させる。Seed膜261は、Cuを、例えば、50 nmの膜厚となるようにスパッタした後、CVDを適用して、例えば50 nmの膜厚のCu膜を成膜することによって得られる。この方法によれば、狭い領域内で、ステップカバレッジの良好な成膜を行うことができる。

次に、Seed膜261の上に、第2のコイルとなるメッキ膜232を、例えば、3～4  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。メッキ膜232は、Cuを主成分とする。図18は、メッキ膜232を形成した後の状態を示している。

#### <図19の状態に至るプロセス>

次に、図19に図示するように、メッキ膜232をCMPによって研磨し、平坦化する。このCMPによって、第2のコイル232が、平面状の渦巻きパターンとなるように、パターン化されるとともに、第1のコイル231から、絶縁膜252によって分離される。CMP後の第2のコイル232の膜厚は、例えば2.5～3.0  $\mu\text{m}$ の範囲となる。CMPにおいては、第2のポール片212、バックギャップ片216および絶縁膜253の表面も、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面と同一の平面となるように研磨される。

#### <図20の状態に至るプロセス>

次に、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ であり、例えば、0.2～0.3  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、第1のコイル231の内端281と第2のコイル232の外端283（図6参照）とを接続する接続導体282のためのレジストフレーム、第3のポール片213及びバックギャップ片217のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、フレームメッキを実行する。これにより、図20に示すように、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217が形成される。接続導体282は、本例ではCuにより構成されているが、第3のポール片213の構成材料と同じものから構成されていてもよい。第3のポール片213及びバックギャップ片217は、CoFe、CoNiFe（1.9～2.1T）またはNiFeのメッキ膜である。これら接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217は、例えば、1～2  $\mu\text{m}$ の範囲の膜厚を有する。

また、第3のポール片213のABSから遠い側の端部は、第2のポール片212のABSから遠い側の端部よりも更にABSから離れているように延長しており、すなわち、絶縁膜254を介して第1のコイル231の上方にまで延びている。換言するならば、第

3のポール片213は、第2のポール片212の上面とコイルにおける第2のポール部P2の対向側の面（すなわち上面）とを覆うように延長した部分を有する。

#### <図21の状態に至るプロセス>

次に、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ でなる絶縁膜255を、例えば、1～2  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜255、第3のポール片213、バックギャップ片217及び接続導体282の表面をCMPによって研磨し、最終的に1～2  $\mu\text{m}$ の膜厚とする。図21はCMP実行後の状態を示している。

#### <図22の状態に至るプロセス>

次に、図22に図示するように、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の被研磨面に、第4のポール片214（図3参照）のための磁性膜214を、例えば、0.3  $\mu\text{m}$ ～1  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタ形成する。磁性膜214は、CoFeN（2.4 T）、FeAlN、FeN、FeCoまたはFeZrNによって構成することができる。実施例では、磁性膜214は、CoFeN（2.4 T）によって構成されている。更に、磁性膜214の表面に、フレイムメッキ法によって、NiFeまたはCoNiFeなどのパターンメッキ250を形成する。パターンメッキ250は、バックギャップ216、217及び第3のポール片213の真上に位置するように形成する。なお、本例では、図22に示されるように、パターンメッキ250の長さは、その下方の第3のポール片213と同じ長さに設定されているが、これに限定されず、第3のポール片213よりもABS側で終端するようにして短くしてもよい。

#### <図23の状態に至るプロセス>

次に、図23に図示するように、パターンメッキ250をマスクとして、磁性膜214を、Ion Beamによってエッチングする。これによって、第4のポール片214は、パターンメッキ250によって所期の主要長さに規定、形成される。

#### <図24の状態に至るプロセス>

次に、アルミナなどでなる絶縁膜256を、2～3  $\mu\text{m}$ の膜厚となるようにスパッタし、その後、絶縁膜256を、パターンメッキ250が除去される位置まで、CMPによって研磨し平坦化する。図24は、このCMP処理が終了した後の状態を示している。

#### <図25の状態に至るプロセス>

次に、フォトリソグラフィプロセスの適用により、第4のポール片214及びバックギャップ片218の上に、レジストマスクFR3を形成する。このとき、第4のポール片214上のレジストマスクFR3は、第4のポール片214の後方側をカバーしないように部分的に形成する。

レジストマスクFR3を形成した後、絶縁膜256及び第4のポール片214におけるレジストマスクFR3でカバーされていない後方側を、例えば、 $0.2 \sim 0.3 \mu\text{m}$ の深さでIBEを施し、エッチングする。これによって、第4のポール片214におけるエッチングされずに残った上側部分は、スロートハイトゼロを決定する部分として、前述の主要長さよりも短い長さの部分なる。

図25に示されるように、第4のポール片214は、側面視ほぼL字状に構成されている。

また、エッチングされて厚みの減少した後側は、第3のポール片213と同じ長さを有しており、すなわち、第1のポール部P1において、コイルの上面を覆うように延長した部分は、第3のポール片213の高さ方向の全部と、第4のポール片214の高さ方向の一部とに設けられていることになる。

その後さらに、エッチングした部分に、レジストマスクFR3を用いて、自己整合的に $\text{Al}_2\text{O}_3$ からなる絶縁膜270を、スパッタなどの手段によって付着させる。絶縁膜270は、 $0.2 \sim 0.35 \mu\text{m}$ の膜厚を有する。また、レジストマスクFR3は、リフトオフし易いように、T型の形状とする。

#### <図26、図27の状態に至るプロセス>

次に、レジストマスクFR3をリフトオフした後、第4のポール片214の露出表面及び絶縁膜270におけるバックギャップ片218よりも前方の表面を、CMP処理により研磨し平坦化する。このCMP処理は、本例では $0.01 \sim 0.02 \mu\text{m}$ の膜厚だけ行う。その後、CMPによって平坦化された面に、ギャップ膜24を $0.06 \sim 0.1 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。ギャップ膜24は、例えば、Ruなどの非磁性金属材料でなり、スパッタ等によって形成することができる。

次に、ギャップ膜24の表面、及び、平坦化面に、上部ポール片としての第2の磁性膜221をスパッタにより形成する。磁性膜221は、HiBs材を用いて構成する。具体的には、FeAlN、FeN、CoFe、CoFeN、FeZrNなどのHiBs材料のうち、特に、CoFe、Co

FeNが適している。第2の磁性膜221は、この後、その上方に配置される第3の磁性膜をメッキによって形成する際に、Seed膜として用いられるものであり、例えば、0.5～0.8 $\mu$ mの膜厚となるように形成する。

次に、第2の磁性膜221をSeed膜として、フォトレジストを用いたフレームメッキ法により、第3の磁性膜222を形成する。第3の磁性膜222は、例えば、NiFe（組成比55：45）、CoNiFe（組成比約67：15：18、1.9T～2.1）、または、CoFe（組成比40：60、2.3T）等によって構成される。その厚みは、1.0～1.5 $\mu$ mの範囲である。

また、第3の磁性膜222は、図27にも示されるように、広い部分223と、細い部分224とを有するように形成される。本実施例では、細い部分224は0.1～0.2 $\mu$ mの幅に形成されている。広い部分223は、第2のヨーク部を構成する部分であり、細い部分224は第2のポール部を構成する部分である。

#### <図28、図29の状態に至るプロセス>

次に、第3の磁性膜222をマスク層として、第2の磁性膜221をエッチングする。かかるエッチングは、例えば、メッキマスク層を用いてIBEやハロゲン系ガス（Cl<sub>2</sub>ガスやBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>ガスなど）でのRIEによって実施される。例えば、RIEでCoFeNをエッチングする場合、50～300度の高温でRIEを行い、0.1～0.2 $\mu$ mの幅となるように第2の磁性膜221を途中までエッチングする。

RIEの際の温度は、50度以上が好ましいが、本実施例では特に200～250度のときに最もよいエッチング結果が得られた。また、Cl<sub>2</sub>系のガスにO<sub>2</sub>を導入することで、エッチングプロファイルが正確にコントロールできると共に、特にBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>にO<sub>2</sub>を混入させることで残存ボロンガスの堆積物をきれいに除去する効果を有しているため、第2の磁性膜221のエッチングをきれいにを行うことができる。さらに、Cl<sub>2</sub>またはBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>、さらにBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>にO<sub>2</sub>を混合させたエッチングガスにおいてRIEを行うことによって、RIEのエッチングスピードが速まり、マスク層である第3の磁性膜222との選択比が30～50%以上向上した。

この後、トリミング用のフォトレジストマスク層を形成し、第3のポール片213及び第4のポール片214をトリミングする。なお、図28において符号TDで示される点線はトリミング深さを示している。かかるトリミングは、本実施例では、35～55の角度



で0.2～0.4  $\mu\text{m}$ の深さのエッチングによってなされる。さらに、0.1  $\mu\text{m}$ まで細くするために、40～75度の角度でIon Millingを行う。

最後に、上面にオーバーコート材（保護膜）271を形成することでウエハー上の製造プロセスが終了する。また、バー状に切り出した後、ABS側を研磨することで、図3に示す状態を得る。

ここで、高周波特性を改善すべくヨーク長YLの短い薄膜磁気ヘッドを形成するためには、第2のポール片の長さを短くする方法が採用され得るが、その場合には、トリミング用のマスク層の後退に起因しIon Millingによるコイルへのアタックが生じる懸念があった。

それに対して、本実施例においては、上述したように、第3のポール片213及び第4のポール片214が、従来よりも長く伸び、即ちABSから第1のコイル231の上方にまで伸びている。このため、本実施例ではトリミング用のマスク層の後退に起因したIon Millingによるコイルへのアタックという不具合を無くすることが可能となった。よって、例えば第2のポール片212の長さを短くしヨーク長YLを短縮化しても、コイル間のショートや、コイル及び下部ポール間の電氣的ショートの問題を解決することができた。

さらに、本実施例では、第3のポール片213及び第4のポール片214をコイル上方に達するまで延長することによって、次のような観点からもオーバーライト特性の改善が図られている。磁束飽和は、トラック幅、トリミングされるポール片（従来では第2のポール片、本発明では第3及び／又は第4のポール片）の幅ならびにトリミング深さという3つの条件に起因した磁性部の体積と大きな関係があり、その体積が小さいほど磁束の飽和が早く発生しオーバーライト特性の悪化につながる。

例えば従来においては、第2のポール片においてトリミングがなされており、且つ、ヨーク長YLの短い薄膜磁気ヘッドを形成するために第2のポール片の長さを短くする傾向にあった。このため、オーバーライト特性が不十分になる虞があった。

これに対して、本実施例では、上述したように、トリミングされる第3のポール片213及び第4のポール片214がコイル上方に達するまで延長しているため、上記3つの条件に起因した磁性部の体積は従来よりも大きくなり、その分磁束の飽和が生じにくくなっている。すなわち、トリミング後もスロートハイトゼロの位置より奥側に第3又は第4のポール片として磁気ボリュームの大きく得られる領域が存在している。よって、ヨーク長

YLを短縮化しつつもオーバーライト特性を良好に確保することが可能となっている。

## (2) 実施例2

実施例2は、図7及び図8に図示された薄膜磁気ヘッドの製造方法に係る。図30～図38はその製造プロセスを示している。図30～図38に図示するプロセスも、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

### <図30の状態に至るプロセス>

図30の状態に至るプロセスとしては、まず、上述した実施例1の図13～図19の状態に至るプロセスを実施することによって、図19と同様な構成を得た後、さらに、次のような処理を行う。

まず、第1のコイル231及び第2のコイル232の表面を覆う絶縁膜254を付着させる。絶縁膜254は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ から構成されており、例えば、 $0.2\sim 0.3\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、絶縁膜254を形成してある一面上で、フォトリソグラフィ工程を実行し、第1のコイル231の内端281と第2のコイル232の外端283（図6参照）とを接続する接続導体282のためのレジストフレーム、第3のポール片213及びバックギャップ片217のためのレジストフレームを形成し、得られたレジストフレームによって画定されたパターンにしたがって、フレームメッキを実行する。これにより、図30に示すように、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217が形成される。

接続導体282は、本例ではCuにより構成されているが、第3のポール片213の構成材料と同じものから構成されていてもよい。なお、本実施例では、接続導体282の膜厚は、第3のポール片213及びバックギャップ片217の膜厚よりも薄くなるように選定される。

第3のポール片213及びバックギャップ片217は、CoFe、CoNiFe（ $1.9\sim 2.1\text{T}$ ）またはNiFeのメッキ膜である。これら接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217は、例えば、 $1\sim 2\mu\text{m}$ の範囲の膜厚を有する。

また、第3のポール片213のABSから遠い側の端部は、第2のポール片212のABSから遠い側の端部よりも更にABSから離れているように延長しており、すなわち、絶縁膜254を介して第1のコイル231の上方にまで延びている。換言するならば、第3のポール片213は、第2のポール片212の上面とコイルにおける第2のポール部P

2の対向側の面（すなわち上面）とを覆うように延長した部分を有する。

#### ＜図31の状態に至るプロセス＞

次に、接続導体282、第3のポール片213及びバックギャップ片217を形成してある表面に、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ でなる絶縁膜255を、例えば、1～2  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように付着させた後、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の表面をCMPによって研磨し、最終的に1～2  $\mu\text{m}$ の膜厚とする。このとき、上記の如く接続導体282は第3のポール片213及びバックギャップ片217よりも膜厚が薄いため、CMP実行後も接続導体282の上面は絶縁膜255より覆われている。図31はCMP実行後の状態を示している。

#### ＜図32の状態に至るプロセス＞

次に、図32に図示するように、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の被研磨面に、第4のポール片214（図3参照）のための磁性膜214を、例えば、0.2  $\mu\text{m}$ ～1  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタ形成する。磁性膜214は、 $\text{CoFeN}$ （2.4 T）、 $\text{FeAlN}$ 、 $\text{FeN}$ 、 $\text{FeCo}$ または $\text{FeZrN}$ によって構成することができる。実施例では、磁性膜214は、 $\text{CoFeN}$ （2.4 T）によって構成されている。

更に、フォトリソグラフィプロセスの適用により、磁性膜214の上面における第4のポール片214及びバックギャップ片218の上方部分に、レジストマスクFR3を形成する。本実施例においては、第4のポール片214によりスロートハイトを決定するためレジストマスクFR3は第3のポール片213の後方側をカバーしないように第3のポール片213よりも短い長さで形成する。

#### ＜図33の状態に至るプロセス＞

次に、レジストマスクFR3を用いて第4のポール片214に対してIBEを施しエッチングする。エッチングされた第4のポール片214は、レジストマスクFR3によって規定された主要長さを膜厚全体に亘って有し、膜厚全体に亘ってスロートハイトを決定するように機能する。また、本実施例では、第4のポール片214はコイルの上方までは延びてなく、第1のポール部P1において、コイルの上面を覆うように延長した部分は、第3のポール片213の高さ方向の全部のみによって構成されている。

その後さらに、レジストマスクFR3を用いて、自己整合的に $\text{Al}_2\text{O}_3$ からなる絶縁膜272をスパッタなどの手段によって付着させた後、レジストマスクFR3をリフトオフす

る。絶縁膜272は、0.3～0.4  $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。

#### <図34の状態に至るプロセス>

次に、レジストマスクFR3をリフトオフした後、第4のポール片214の露出表面及び絶縁膜270の表面を、CMP処理により0.1  $\mu\text{m}$ 程度軽く研磨し平坦化する。その後、CMPによって平坦化された面に、ギャップ膜24を0.07～0.1  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。ギャップ膜24は、例えば、Ru、Ni、Cu、Taなどの非磁性金属材料又は $\text{SiO}_2$ や $\text{Al}_2\text{O}_3$ などの絶縁材料からなり、スパッタ等によって形成することができる。

さらに、ギャップ膜24の表面、及び、平坦化面に、上部ポール片としての第2の磁性膜221をスパッタにより形成する。磁性膜221は、HiBs材を用いて構成する。具体的には、FeAlN、FeN、CoFe、CoFeN、FeZrNなどのHiBs材料であり、特に、CoFe、CoFeN (2.4 T) が適している。第2の磁性膜221は、この後、その上方に配置される第3の磁性膜をメッキによって形成する際に、Seed膜として用いられるものであり、例えば、0.3～0.6  $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

#### <図35、図36の状態に至るプロセス>

次に、第2の磁性膜221をSeed膜として、フォトリジストを用いたフレームメッキ法により、第3の磁性膜222を形成する。第3の磁性膜222は、例えば、NiFe (組成比55 : 45)、CoNiFe (組成比約67 : 15 : 18、1.9 T～2.1)、または、CoFe (組成比40 : 60、2.3 T) 等によって構成される。その厚みは、3.0～3.5  $\mu\text{m}$ の範囲である。

また、第3の磁性膜222は、上記実施例1と同様に、広い部分223と、細い部分224とを有するように形成される。本実施例では、細い部分224は0.1～0.2  $\mu\text{m}$ の幅に形成されている。広い部分223は、第2のヨーク部を構成する部分であり、細い部分224は第2のポール部を構成する部分である。

#### <図37、図38の状態に至るプロセス>

次に、第3の磁性膜222をマスク層として、例えば35～50度の角度で第2の磁性膜221をエッチングする。かかるエッチングは、例えば、メッキマスク層を用いてIBEやハロゲン系ガス ( $\text{Cl}_2$ ガスや $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ ガスなど) でのRIEによって行われる。

例えば、RIEでCoFeNをエッチングする場合、50～300度の高温でRIEを行い、

0.1~0.2 $\mu$ mの幅となるように第2の磁性膜221を途中までエッチングする。RIEの際の温度は、50度以上が好ましいが、本実施例では特に200~250度のときに最もよいエッチング結果が得られた。

また、Cl<sub>2</sub>系のガスにO<sub>2</sub>を導入することで、エッチングプロファイルが正確にコントロールできると共に、特にBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>にO<sub>2</sub>を混入させることで残存ボロンガスの堆積物をきれいに除去する効果を有しているため、第2の磁性膜221のエッチングをきれいにを行うことができる。

さらに、Cl<sub>2</sub>またはBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>、さらにBCl<sub>3</sub>+Cl<sub>2</sub>+O<sub>2</sub>にO<sub>2</sub>を混合させたエッチングガスにおいてRIEを行うことによって、RIEのエッチングスピードが速まり、マスク層である第3の磁性膜222との選択比が30~50%以上向上した。

この後、残存する第2の磁性膜221を追加エッチングするためIBEを施す。このIBEにおいては例えば、40~75度の角度で残存する第2の磁性膜221のエッチングを行うことができる。

さらにその後、トリミング用のフォトレジストマスク層を形成し、第3のポール片213及び第4のポール片214をトリミングする。かかるトリミングは、本実施例では、45~55の角度で0.2~0.4 $\mu$ mの深さ、すなわち第3のポール片213におけるコイル上面を覆うように延長した部分にまで達する深さのエッチングによってなされる。さらに、0.1 $\mu$ mまで細くするために、40~75度の角度でIon Millingを行う。

これにより、第2のポール部P2においては、0.1 $\mu$ m幅の狭トラック構造が形成でき、しかも、従来のように第2のポール部P2において端部の膜厚が減少するような不具合を無くすことができた。また、第2のポール部P2の先端部が三角形状になってしまう不具合も解消することができた。

さらに、RIE実行時のCl<sub>2</sub>やBCl<sub>3</sub>の残存ガスが第2のポール部P2に付着している場合でも、上記トリミング時のIon Millingによるサイドエッチングによって、それらの残存ガスも完全に除去されるため、第2のポール部P2の腐食なども完全に回避することができるようになった。

一般に、Cl<sub>2</sub>系のエッチングガスではCoFe系のエッチングレートが遅く、特にCoFeN材ではエッチングプロファイルがテーパ状になり正確に狭くパターン形成されない虞があった。しかしながら、本実施例では、エッチングガスにおけるRIE後に、40~75度、特

に45～50度の角度でIon Millingを施すことによって、RIEによって一旦テーパ状となったCoFeN (2.4 TのHiBs材) を有する第2のポール部P 2が、最終的には垂直に近い形状に加工される。すなわち、Ion Millingによって、正確なトラック幅への加工が制御できるようになっている。

なお、本実施例では、第2の磁性膜2 2 1をRIEによってエッチングする例を示したが、本発明はこれに限定されず、IBEだけでエッチングする態様であってもよい。

最後に、上面にオーバーコート材 (保護膜) 2 7 1を20～40  $\mu\text{m}$ の膜厚で形成することでウエハー上の製造プロセスが終了する。また、バー状に切り出した後、ABS側を研磨することで、図7及び図8に示す状態を得る。

### (3) 実施例3

実施例3は、図9及び図10に図示した薄膜磁気ヘッドの製造プロセスであり、図39～図47に図示されている。実施例1または実施例2において図示され、説明されたプロセスであって、実施例3においても適用されるプロセスについては、実施例1又は実施例2の説明を参照し、図示は省略することがある。

#### <図39の状態に至るプロセス>

図39の状態に至るプロセスとしては、まず、上述した実施例1の図13～図15の状態に至るプロセスを実施することによって、図15と同様な構成を得た後、さらに、次のような処理を行う。

まず、図15におけるフォトリジスト膜RS 2を除去した後、絶縁膜2 5 1、第1のコイル2 3 1、第2のポール片2 1 2及びバックギャップ片2 1 6の表面及び側面に、0.1～0.15  $\mu\text{m}$ 程度の膜厚を有する絶縁膜2 5 2を付着させる。絶縁膜2 5 2をAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>膜として形成する場合、100℃以上の温度で、H<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>OまたはH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>の減圧雰囲気中に、Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>またはAlCl<sub>3</sub>を交互に断続的に噴射するアルミナCVD膜形成方法を採用することができる。

更に、絶縁膜2 5 2の表面に、Cu-CVDによって、0.05～0.1  $\mu\text{m}$ の範囲の膜厚となるように、Seed膜2 6 1を付着させる。Seed膜2 6 1は、Cuを、例えば、50 nmの膜厚となるようにスパッタした後、CVDを適用して、例えば50 nmの膜厚のCu膜を成膜することによって得られる。この方法によれば、狭い領域内で、ステップカバレッジの良好な成膜を行うことができる。

#### <図40の状態に至るプロセス>

次に、Seed膜261の上に、第2のコイルとなるメッキ膜232を例えば3～4 $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。メッキ膜232は、Cuを主成分とし、第1のコイル231の周囲部分に選択的に形成する。さらに、メッキ膜232の外側に位置するSeed膜261の部分、希塩酸、希硫酸あるいは硫酸銅などを用いたウェットエッチングによって、又は、Ion Millingなどのドライエッチングによって除去する。その上に、アルミナなどからなる絶縁膜253を3～5 $\mu\text{m}$ の膜厚で形成する。

#### <図41の状態に至るプロセス>

次に、上述した実施例1の図19～図21の状態に至るプロセスを実施することによって、図21と同様な構成を得た後、さらに、次のような処理を行う。

次に、図41に図示するように、絶縁膜255、第3のポール片213及びバックギャップ片217の被研磨面に、第4のポール片214（図3参照）のための磁性膜214を、例えば、0.5 $\mu\text{m}$ ～1 $\mu\text{m}$ の膜厚となるように、スパッタ形成する。磁性膜214は、CoFeN（2.4T）、FeAlN、FeN、FeCoまたはFeZrNによって構成することができる。実施例では、磁性膜214は、CoFeN（2.4T）によって構成されている。更に、磁性膜214の表面に、フレイムメッキ法によって、NiFeまたはCoNiFeなどのパターンメッキ250を形成する。パターンメッキ250は、バックギャップ217、218及び第3のポール片213の真上に位置するように形成する。

#### <図42の状態に至るプロセス>

次に、図42に図示するように、パターンメッキ250をマスクとして、磁性膜214を、RIE及びIon Beamによってエッチングする。なお、かかるエッチングは、実施例2における第2の磁性膜221のエッチングと同態様で行うことができ、それによるメリットも同様に得ることができる。

このように第4のポール片214がコイルから離れた位置に設けられることで、第4のポール片214でスロートハイトを決定することができ、そのハイト距離は0.1～0.5あるいは0.2～0.7 $\mu\text{m}$ と如何ようにも調整できる正確なプロセスとして実施できる。そのため、write currentの立ち上がりが速く、オーバーライト特性の優れた書き込みヘッドが得られる。

また、ABSとコイルエッジとの間の距離は短いほど、ヨーク長の短いヘッドが得られ

る反面、急激な傾斜でスロートハイトを決定する必要があるため、そのような急激な傾斜部においてフラックスの飽和領域が生じ、その部分での磁束漏れが発生して十分なオーバーライト特性が得られないケースがあった。

しかしながら、本発明では、ABSからコイルまでの距離に関し、第2のポール片212と、第2のポール片212よりも狭いか又は同じ幅の第3のポール片213と、第3のポール片213よりも狭い幅の第4のポール片214とで、スロートハイトを決定しているため、メディアに書き込むデータの磁束通路は、第2のポール片、第3のポール片、第4のポール片に互ってステップ段差が浅く、急激な段差変化がないため、十分なフラックスが途中で漏れることがない。このため、隣のトラックに対して書き込みを行ったりデータを消去したりする問題を回避することができる。

#### <図43～図46の状態に至るプロセス>

次に、図43に示されるように、アルミナなどでなる絶縁膜256をスパッタし、図44に示されるように、絶縁膜256をCMPによって研磨し平坦化する。さらに、CMPによって平坦化された面に、ギャップ膜24を0.06～0.1μmの膜厚となるように形成する。ギャップ膜24は、例えば、Ruなどの非磁性金属材料であり、スパッタ等によって形成することができる。

次に、ギャップ膜24の表面、及び、平坦化面に、上部ポール片としての第2の磁性膜221をスパッタにより形成する。磁性膜221は、HiBs材を用いて構成する。具体的には、FeAlN、FeN、CoFe、CoFeN、FeZrNなどのHiBs材料のうち、本実施例では特に、CoFeN（2.4T）が使用している。第2の磁性膜221は、この後、その上方に配置される第3の磁性膜をメッキによって形成する際に、Seed膜として用いられるものであり、例えば、0.8～1.5μmの膜厚となるように形成する。

次に、第2の磁性膜221をSeed膜として、フォトレジストを用いたフレイムメッキ法により、第3の磁性膜222を形成する。第3の磁性膜222は、例えば、NiFe（組成比55：45）、CoNiFe（組成比約67：15：18、1.9T～2.1）、または、CoFe（組成比40：60、2.3T）等によって構成される。その厚みは、3.0～3.5μmの範囲である。

また、第3の磁性膜222は、図46にも示されるように、広い部分223と、細い部分224とを有するように形成される。本実施例では、細い部分224は0.1～0.2



$\mu\text{m}$ の幅に形成されている。広い部分223は、第2のヨーク部を構成する部分であり、細い部分224は第2のポール部を構成する部分である。

図45は、第3の磁性膜222の形成が終了した後の状態を示している。

＜図47、図48の状態に至るプロセス＞

次に、第3の磁性膜222をマスク層として、第2の磁性膜221をエッチングする。かかるエッチングは、例えば、メッキマスク層を用いてIBEやハロゲン系ガス（ $\text{Cl}_2$ ガスや $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ ガスなど）でのRIEによって実施される。

本実施例では、 $50 \sim 300$ 度の高温でRIEを行い、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の幅となるように第2の磁性膜221を途中までエッチングする。RIEの際の温度は、 $50$ 度以上が好ましいが、本実施例では特に $200 \sim 250$ 度のときに最もよいエッチング結果が得られた。

また、 $\text{Cl}_2$ 系のガスに $\text{O}_2$ を導入することで、エッチングプロファイルが正確にコントロールできると共に、特に $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ に $\text{O}_2$ を混入させることで残存ボロンガスの堆積物をきれいに除去する効果を有しているため、第2の磁性膜221のエッチングをきれいにを行うことができる。

さらに、 $\text{Cl}_2$ または $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ 、さらに $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{O}_2$ に $\text{O}_2$ を混合させたエッチングガスにおいてRIEを行うことによって、RIEのエッチングスピードが速まり、マスク層である第3の磁性膜222との選択比が $30 \sim 50\%$ 以上向上した。

この後、残存する第2の磁性膜221を追加エッチングするためIBEを施す。このIBEにおいては例えば、 $40 \sim 75$ 度の角度で残存する第2の磁性膜221のエッチングを行うことができる。

さらにその後、トリミング用のフォトレジストマスク層を形成し、第3のポール片213及び第4のポール片214をトリミングする。かかるトリミングは、本実施例では、 $45 \sim 55$ の角度で $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の深さのエッチングによってなされる。さらに、 $0.1 \mu\text{m}$ まで細くするために、 $40 \sim 75$ 度の角度でIon Millingを行う。

最後に、上面にオーバーコート材（保護膜）271を形成することでウエハー上の製造プロセスが終了する。また、バー状に切り出した後、ABS側を研磨することで、図9に示す状態を得る。

#### （4）実施例4

実施例4は、図10及び図11に図示された薄膜磁気ヘッドの製造方法に係る。図49～図52はその製造プロセスを示している。図49～図52に図示するプロセスも、ウエハー上で実行されるものであることを予め断っておく。

#### <図49の状態に至るプロセス>

基体15の上に付着された絶縁膜16の上に、第1のシールド膜31、読み取り素子3、絶縁膜32、第2のシールド膜33、絶縁膜34及び第1の磁性膜211を、周知のプロセスによって形成する。

具体例を述べると、絶縁膜16はアルミナ膜であり、例えば、 $3\mu\text{m}$ 程度の膜厚となるように形成する。第1のシールド膜31は、NiFeなどの磁性材料を用い、フレイムメッキ法によって $2\sim 3\mu\text{m}$ の膜厚として形成する。

絶縁膜32は、一般には、2段階ステップで形成される。第1ステップでは、 $3\sim 4\mu\text{m}$ の膜厚のアルミナ膜を形成した後、その表面をCMPで平坦化し、その後、読み取り素子となるGMR素子3を形成する。その後、第2ステップで、GMR素子3を覆うアルミナ膜を成膜する。第2のシールド膜33はNiFeなどの磁性材料を用い、 $1.0\sim 1.5\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。絶縁膜34は、 $0.3\mu\text{m}$ のアルミナ膜として形成する。

第1の磁性膜211は、CoNiFe ( $1.9\text{T}$ ) 又はCoFeN ( $2.4\text{T}$ ) を用い、 $3.0\sim 4.0\mu\text{m}$ の膜厚として形成する。第1の磁性膜211のうち、第1のポール片となる端部に、NiFe ( $80\%:20\%$ ) もしくはNiFe ( $45\%:55\%$ ) のメッキ膜、又は、FeAlN、FeN、FeCo、CoFeNもしくはFeZrNのスパッタ膜を、 $0.5\sim 0.6\mu\text{m}$ の厚みで形成してもよい。

その後、第1の磁性膜211の平坦な表面に、例えば $0.2\mu\text{m}$ の厚みの絶縁膜251を成膜し、選択的に開口部を形成した後、その上に第1のコイル231を形成する。

#### <図50の状態に至るプロセス>

次に、第2のポール片212及びバックギャップ片216を形成するためのフォトリソグラフィ工程を実行して、ポール片及びバックギャップ片のためのレジストフレームを形成する。

次に、選択的メッキ処理を行い、第1の磁性膜211の上に第2のポール片212及びバックギャップ片216を成長させ、その後、レジストフレームを、ケミカルエッチング

などの手段によって除去する。これにより、図50に示すように、第1の磁性膜211の一面上に、ポール片212及びバックギャップ片216が間隔を隔てて形成される。ポール片212及びバックギャップ片216は、例えば、CoNiFe（組成比約67：15：18 1.8～1.9T）あるいはCoFe（組成比約60：40 2.4T）より構成することができ、3.5 $\mu$ mの膜厚となるように成膜する。

さらに、第1のコイル231、ポール片212及びバックギャップ片216を覆うフォトレジスト膜RS2を形成する。そして、フォトレジスト膜RS2をマスクとして、第1の磁性膜211を、Reactive Ion Etching（以下、RIEと称する）又はIon Beam Etching（以下IBEと称する）などのドライエッチングを実行し、パターニングする。

#### <図51の状態に至るプロセス>

次に、フォトレジスト膜RS2に対してフォトリソグラフィ工程を実行して除去した後、第1のコイル231のコイルターンの間にスペーサとしてのフォトレジストからなる絶縁膜252を形成し、さらにその上から、第1のコイル231及びその周囲を覆うアルミナからなる絶縁膜253を形成する。そして、絶縁膜253及び第2のポール片212にCMPを施して平坦化する。

次に、平坦化された上面に、HiBs材であるCoFeNやCoFeからなるスパッタ膜、あるいはCoNiFeやCoFe（2.3T）のメッキ膜を選択的に第3のポール片213として形成する。すなわち、スパッタ膜であればフォトレジストマスクを施してIBEを行うことにより形成し、メッキ膜であればフォトレジストマスクパターンを用いて形成することができる。あるいは、スパッタ膜上にメッキ層のマスク材を形成して、HiBs材をIBEしてもよい。

これによって、第3のポール片213は、所期の主要長さに規定、形成される。本実施例では、CoFeN又はCoFeからなる磁性膜を第3のポール片213として設けている。

また、第3のポール片213のABSから遠い側の端部は、第2のポール片212のABSから遠い側の端部よりも更にABSから離れているように延長しており、すなわち、絶縁膜254を介して第1のコイル231の上方にまで延びている。換言するならば、第3のポール片213は、第2のポール片212の上面とコイルにおける第2のポール部P2の対向側の面（すなわち上面）とを覆うように延長した部分を有する。

さらに、図51に示されるように、バックギャップ片216の上方にバックギャップ片

217を、その後方のコイル上方に接続導体281を形成する。そして、残りの平坦化面に例えば1～3 $\mu\text{m}$ のアルミナからなる絶縁膜255を形成した後、それら第3のポール片213、バックギャップ片217、接続導体281ならびに絶縁膜255に対してCMPを施して平坦化する。

#### <図52の状態に至るプロセス>

次に、少なくとも第3のポール片213の上方に図示しないレジストマスクを形成する。本実施例では、第3のポール片213でスロートハイトを形成するため、レジストマスクは、第2のポール片212の長さよりも短く形成されている。そして、レジストマスクを用いて第3のポール片213を例えば、0.2～0.3 $\mu\text{m}$ の深さでIBEする。これによって、第3のポール片213におけるエッチングされずに残った上側部分は、スロートハイトゼロを決定する部分として、前述の主要長さよりも短い長さの部分なる。

図52に示されるように、第3のポール片213は、側面視ほぼL字状に構成されている。よって本実施例では、第1のポール部P1において、コイルの上面を覆うように延長した部分は、第3のポール片213の高さ方向の一部に設けられていることになる。

続いて、レジストマスクを用いて、自己整合的に $\text{Al}_2\text{O}_3$ からなる絶縁膜270を、スパッタなどの手段によって付着させる。絶縁膜270は、0.3～0.4 $\mu\text{m}$ の膜厚を有する。また、レジストマスクは、リフトオフし易いように、T型の形状とする。

次に、レジストマスクをリフトオフした後、第3のポール片213の露出表面及び絶縁膜270の表面を、CMP処理により軽く研磨し平坦化する。このCMP処理は、本例では0.01 $\mu\text{m}$ の膜厚だけ行う。

その後、CMPによって平坦化された面に、ギャップ膜24を0.07～0.1 $\mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。ギャップ膜24は、例えば、例えば、Ru、NiCu、Taなどの非磁性金属材料又は $\text{SiO}_2$ や $\text{Al}_2\text{O}_3$ などの絶縁材料からなり、スパッタ等によって形成することができる。

次に、ギャップ膜24の表面、及び、平坦化面に、上部ポール片としての第2の磁性膜221をスパッタにより形成する。磁性膜221は、HiBs材を用いて構成する。具体的には、FeAlN、FeN、CoFe、CoFeN、FeZrNなどのHiBs材料のうち、本実施例では特に、CoFeN（2.4T）が使用している。第2の磁性膜221は、この後、その上方に配置される第3の磁性膜をメッキによって形成する際に、Seed膜として用いられるもの

であり、例えば、 $0.8 \sim 1.5 \mu\text{m}$ の膜厚となるように形成する。

次に、第2の磁性膜221をSeed膜として、フォトレジストを用いたフレイムメッキ法により、第3の磁性膜222を形成する。第3の磁性膜222は、例えば、NiFe（組成比55：45）、CoNiFe（組成比約67：15：18、 $1.9 \text{ T} \sim 2.1$ ）、または、CoFe（組成比40：60、 $2.3 \text{ T}$ ）等によって構成される。その厚みは、 $3.0 \sim 3.5 \mu\text{m}$ の範囲である。

次に、第3の磁性膜222をマスク層として、第2の磁性膜221をエッチングする。かかるエッチングは、例えば、メッキマスク層を用いてIBEやハロゲン系ガス（ $\text{Cl}_2$ ガスや $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ ガスなど）でのRIEによって実施される。

本実施例では、 $50 \sim 300$ 度の高温でRIEを行い、 $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ の幅となるように第2の磁性膜221を途中までエッチングする。RIEの際の温度は、 $50$ 度以上が好ましいが、本実施例では特に $200 \sim 250$ 度のときに最もよいエッチング結果が得られた。

また、 $\text{Cl}_2$ 系のガスに $\text{O}_2$ を導入することで、エッチングプロファイルが正確にコントロールできると共に、特に $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ に $\text{O}_2$ を混入させることで残存ボロンガスの堆積物をきれいに除去する効果を有しているため、第2の磁性膜221のエッチングをきれいにすることができる。

さらに、 $\text{Cl}_2$ または $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2$ 、さらに $\text{BCl}_3 + \text{Cl}_2 + \text{O}_2$ に $\text{O}_2$ を混合させたエッチングガスにおいてRIEを行うことによって、RIEのエッチングスピードが速まり、マスク層である第3の磁性膜222との選択比が $30 \sim 50\%$ 以上向上した。

この後、残存する第2の磁性膜221を追加エッチングするためIBEを施す。このIBEにおいては例えば、 $40 \sim 75$ 度の角度で残存する第2の磁性膜221のエッチングを行うことができる。

さらにその後、トリミング用のフォトレジストマスク層を形成し、第3のポール片213及び第4のポール片214をトリミングする。かかるトリミングは、本実施例では、 $45 \sim 55$ の角度で $0.3 \sim 0.4 \mu\text{m}$ の深さのエッチングによってなされる。さらに、 $0.1 \mu\text{m}$ まで細くするために、 $40 \sim 75$ 度の角度でIon Millingを行う。

最後に、上面にオーバーコート材（保護膜）271を形成することでウエハー上の製造プロセスが終了する。また、バー状に切り出した後、ABS側を研磨することで、図10及

び図11に示す状態を得る。

### 3. 磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置

本発明は、更に、磁気ヘッド装置及び磁気記録再生装置についても開示する。図53及び図54を参照すると、本発明に係る磁気ヘッド装置は、図1～図12に示した薄膜磁気ヘッド400と、ヘッド支持装置6とを含む。ヘッド支持装置6は、金属薄板でなる支持体61の長手方向の一端にある自由端に、同じく金属薄板でなる可撓体62を取付け、この可撓体62の下面に薄膜磁気ヘッド400を取付けた構造となっている。

具体的には、可撓体62は、支持体61の長手方向軸線と略平行して伸びる2つの外側枠部621、622と、支持体61から離れた端において外側枠部621、622を連結する横枠623と、横枠623の略中央部から外側枠部621、622に略平行するように延びていて先端を自由端とした舌状片624とを有する。横枠623のある方向とは反対側の一端は、支持体61の自由端付近に溶接等の手段によって取付けられている。

支持体61の下面には、例えば半球状の荷重用突起625が設けられている。この荷重用突起625により、支持体61の自由端から舌状片624へ荷重力が伝えられる。

薄膜磁気ヘッド400は、舌状片624の下面に接着等の手段によって取付けられている。薄膜磁気ヘッド400は、ピッチ動作及びロール動作が許容されるように支持されている。

本発明に適用可能なヘッド支持装置6は、上記実施例に限定するものではなく、これまでに提案され、またはこれから提案されることのあるヘッド支持装置を、広く適用できる。例えば、支持体61と舌状片624とを、タブテープ（TAB）等のフレキシブルな高分子系配線板を用いて一体化したもの等を用いることもできる。また、従来より周知のジンバル構造を持つものを自由に用いることができる。

次に、図55を参照すると、本発明に係る磁気記録再生装置は、軸70の回りに回転可能に設けられた磁気ディスク71と、磁気ディスク71に対して情報の記録及び再生を行う薄膜磁気ヘッド72と、薄膜磁気ヘッド72を磁気ディスク71のトラック上に位置決めするためのアッセンブリキャリッジ装置73とを備えている。

アッセンブリキャリッジ装置73は、軸74を中心にして回動可能なキャリッジ75と、このキャリッジ75を回動駆動する例えばボイスコイルモータ（VCM）からなるアクチュエータ76とから主として構成されている。

キャリッジ75には、軸74の方向にスタックされた複数の駆動アーム77の基部が取り付けられており、各駆動アーム77の先端部には、薄膜磁気ヘッド72を搭載したヘッドサスペンションアッセンブリ78が固着されている。各ヘッドサスペンションアッセンブリ78は、その先端部に有する薄膜磁気ヘッド72が、各磁気ディスク71の表面に対して対向するように駆動アーム77の先端部に設けられている。

駆動アーム77、ヘッドサスペンションアッセンブリ78及び薄膜磁気ヘッド72は、図53、図54を参照して説明した磁気ヘッド装置を構成する。薄膜磁気ヘッド72は、図1～図12に示した構造を有する。従って、図55に示した磁気記録再生装置は、図1～図12を参照して説明した作用効果を奏する。

以上、好ましい実施例を参照して本発明の内容を具体的に説明したが、本発明の基本的技術思想及び教示に基づいて、当業者であれば、種々の変形態様を採り得ることは自明である。

What is claimed is:

1. 書き込み素子を含む薄膜磁気ヘッドであって、

前記書き込み素子は、第1のヨーク部と、第2のヨーク部と、第1のポール部と、第2のポール部と、ギャップ膜と、バックギャップ部と、コイルとを含んでおり、

前記第1のヨーク部は、前記バックギャップ部を介して媒体対向面の逆側で第2のヨーク部と結合されており、

前記第1及び第2のポール部はそれぞれ、前記第1及び第2のヨーク部の媒体対向面側に設けられており、

前記第1のポール部は、第2のポール部と対向する媒体対向面側の位置に、該第2のポール部の幅に合わせて縮小された幅の被トリミング部分を有し、

前記第2のポール部は、媒体対向面側に向けて縮小された幅を有しており、

前記ギャップ膜は、前記第1のポール部及び第2のポール部の間に設けられており、

前記コイルは、前記バックギャップ部の周りを渦巻き状に周回しており、

さらに、前記第1のポール部は、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分を有する、  
薄膜磁気ヘッド。

2. 請求項1に記載された薄膜磁気ヘッドであって、

前記第1のポール部は、第1のポール片と、第2のポール片と、第3のポール片とを含み、

前記第1のポール片は、前記コイルを支持する第1の磁性膜の端によって構成されており、

前記第2のポール片は、その一面が前記第1のポール片に隣接しており、

前記第3のポール片は、その一面が前記第2のポール片の他面に隣接しており、

前記第2のポール片は、前記コイルの媒体対向面側に配置されており、

前記第3のポール片は、前記第2のポール片の他面と、前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面とを覆うように延長した部分を有する、  
薄膜磁気ヘッド。



3. 請求項2に記載された薄膜磁気ヘッドであって、  
前記第1のポール部は、第4のポール片をさらに含み、  
前記第4のポール片は、前記第3のポール片の他面に隣接しており、  
前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の全部と、前記第4のポール片の高さ方向の一部とに設けられている、  
薄膜磁気ヘッド。

4. 請求項2に記載された薄膜磁気ヘッドであって、  
前記第1のポール部は、第4のポール片をさらに含み、  
前記第4のポール片は、前記第3のポール片の他面に隣接しており、  
前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の全部に設けられている、  
薄膜磁気ヘッド。

5. 請求項2に記載された薄膜磁気ヘッドであって、  
前記コイルにおける前記第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分は、前記第3のポール片の高さ方向の一部に設けられている、  
薄膜磁気ヘッド。

6. 請求項3に記載された薄膜磁気ヘッドであって、  
前記被トリミング部分のトリミング深さは、前記第3のポール片における前記延長した部分にまで達する深さである、  
薄膜磁気ヘッド。

7. 請求項3に記載された薄膜磁気ヘッドであって、  
前記被トリミング部分のトリミング底面は、前記第4のポール片によって形成されている、

薄膜磁気ヘッド。

8. 請求項1に記載された薄膜磁気ヘッドであって、

前記コイルは、第1のコイルと、第2のコイルとを含み、

前記第1のコイル及び前記第2のコイルは、前記バックギャップ部の周りを渦巻き状に周回し、一方のコイルが、他方のコイルターン間のスペースに絶縁膜を介して嵌め込まれ、同一方向の磁束を生じるように接続されている、  
薄膜磁気ヘッド。

9. 書き込み素子を含む薄膜磁気ヘッドの製造方法であり、

該書き込み素子が、バックギャップ部によって結合される第1のヨーク部及び第2のヨーク部と、それらヨーク部の媒体対向面側に設けられた第1のポール部及び第2のポール部と、それらポール部の間に介在されたギャップ膜と、バックギャップ部に渦巻き状に周回されたコイルとを有しており、

前記第1のヨーク部の上方に前記コイルを形成し、

前記第1のポール部の構成部分を、前記コイルの上面を覆うように延長させて形成し、

前記第1のポール部の上方に前記ギャップ膜を形成し、

前記ギャップ膜の上方に前記第2のポール部を含む第2のヨーク部を形成し、

前記第1のポール部を、前記第2のポール部の幅に合わせてトリミングする、

薄膜磁気ヘッドの製造方法。

10. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第1のポール部のトリミングは、前記コイルの上面を覆うように延長した部分まで達する深さで行われる、

薄膜磁気ヘッドの製造方法。

11. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第1のポール部の形成は、

前記コイルを支持する第1の磁性膜の端に位置する第1のポール片を形成し、

前記コイルを形成した後、該コイルの媒体対向面側に第2のポール片を形成し、  
前記第2ポール片の上面及び前記コイルの上面を覆うように延長する第3のポール片を  
形成する、ことを含む、  
薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 2. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第1のポール部の形成は、前記第3のポール片の上面に第4のポール片を形成する  
ことをさらに含み、

前記第4のポール片の形成は、

所期の主要長さに前記第4のポール片を形成する第1工程と、

スロットハイトゼロを決定する部分として前記主要長さよりも短い長さ部分を形成する  
第2工程と、を含む、

薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 3. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第1のポール部の形成は、前記第3のポール片の上面に第4のポール片を形成する  
ことをさらに含み、

前記第4のポール片は、スロットハイトゼロを決定すべく前記第3のポール片よりも短  
い所期の主要長さを膜厚全体に亘って有するように形成される、  
薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 4. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第3のポール片の形成は、

所期の主要長さに前記第3のポール片を形成する第1工程と、

スロットハイトゼロを決定する部分として前記主要長さよりも短い長さ部分を形成する  
第2工程と、を含む、

薄膜磁気ヘッドの製造方法。

1 5. 請求項9に記載された薄膜磁気ヘッドの製造方法であって、

前記第2のポール片の形成後、前記第3のポール片の形成前に、前記コイルの上面と該第3のポール片における該コイルの上面を覆うように延長する部分との間に、絶縁膜を形成する工程を含む、  
薄膜磁気ヘッドの製造方法。

16. 薄膜磁気ヘッドと、磁気記録媒体とを含む磁気記録再生装置であって、  
前記薄膜磁気ヘッドは、請求項1乃至8の何れか一項に記載されたものでなり、  
前記磁気記録媒体は、前記薄膜磁気ヘッドと協働して磁気記録再生を行う  
磁気記録再生装置。

## ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

薄膜磁気ヘッドにおける書き込み素子2においては、第1のポール部P1は、第2のポール部P2と対向する媒体対向面側の位置に、第2のポール部の幅に合わせて縮小された幅の被トリミング部分を有し、第2のポール部は、媒体対向面側に向けて縮小された幅を有しており、第1のポール部は、コイルにおける第2のポール部の対向側の面を覆うように延長した部分を有する。製造に際しては、第1のポール部の所定の構成部分を、コイルの上面を覆うように延長させて形成しておき、第1のポール部を第2のポール部の幅に合わせてトリミングする。